

В. М. БЕЗРУЧКО, Р. О. БУЙНИЙ, В. І. ТКАЧ

ІННОВАЦІЙНИЙ ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЬ ОДНОФАЗНИХ ЗАМИКАНЬ НА ЗЕМЛЮ В МЕРЕЖАХ 6-35 кВ ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ КОНЦЕПЦІЇ SMART GRID В УКРАЇНІ

Виникнення однофазних замикань на землю в електричних мережах напругою 6-35кВ, що працюють з ізольованою нейтраллю, призводять до утворення ненормального режиму роботи. У такому режимі підвищується ймовірність утворення міжфазного короткого замикання та знеструмлення споживачів. Тому час визначення місця однофазного замикання на землю та його усунення важливо звести до мінімуму. Для цього пропонується використовувати запропонований пристрій, що має розміщуватися на кожній опорі повітряної лінії та передавати координати опори повітряної лінії, де виникає замикання на землю, в диспетчерський центр через GSM-мережу стільникового зв'язку. Запропонований пристрій не містить акумуляторного джерела живлення, а живиться лише від струму замикання та не працює без наявності замикання на землю, що обумовлює його високу надійність. Описана його спрощена конструкція та принцип дії, надані рекомендації по реалізації пристрою. Розглянута можливість інтеграції такого пристрою у існуючі інформаційно-керуючі системи автоматизації, що вже використовуються або впроваджуються в мережах обленерго України. Як правило у майже всіх обленерго впроваджено та використовуються автономно одна від іншої, такі системи автоматичного управління мережами, як SCADA-система та GIS-система. Рекомендовано надавати інформацію від пристрою по обидві зазначені системи: в SCADA-систему для архівації даних у журналі подій, а до GIS-системи для підвищення зручності при координації дій під час усуненні пошкоджень. Розглянуто обладнання, яке потрібно використовувати для інтеграції запропонованого пристрою до вищезазначених систем та надано рекомендації з їх доопрацювання для підвищення зручності використання отриманої інформації оперативним персоналом. Проаналізовані заходи по кіберзахисту такої системи від стороннього впливу через публічність GSM-мережі. Проаналізована робота експлуатаційного персоналу по усуненню замикань на землю при отриманні інформації від пристрою. Показано, що при встановленні запропонованого пристрою показники надійності електропостачання SAIDI, SAIFI та ENS вдасться покращити: SAIDI з 1,2 до 0,95 год/(рік-відкл); SAIFI з 0,015 до 0,0075 разів/(рік-км); ENS 46,3 до 26,3 МВт-год/рік.

Ключові слова: електричні мережі 6-35кВ, електричні мережі з ізольованою нейтраллю, однофазні замикання на землю, пошук місця замикання, SCADA-система, GIS-система

В. М. БЕЗРУЧКО, Р. О. БУЙНИЙ, В. И. ТКАЧ

ІННОВАЦІЙНИЙ ПОДХІД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ МЕСТА ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ 6-35кВ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ КОНЦЕПЦИИ SMART GRID В УКРАИНЕ

Возникновение однофазных замыканий на землю в электрических сетях напряжением 6-35кВ, работающих с изолированной нейтралью, приводит к ненормальному режиму работы сети. В таком режиме повышается вероятность образования межфазного короткого замыкания и обесточивания потребителей. Поэтому время определения места однофазного замыкания на землю и его устранение важно свести к минимуму. Для этого предлагается использовать инновационное устройство, которое должно находиться на каждой опоре воздушной линии и передавать координаты опоры воздушной линии, где возникает замыкание на землю в диспетчерский центр через GSM-сеть сотовой связи. Предлагаемое устройство не содержит аккумуляторного источника питания, питается от тока замыкания и не работает без наличия замыкания на землю, что обуславливает его высокую надежность. Описана его упрощенная конструкция и принцип действия, даны рекомендации по реализации устройства. Рассмотрена возможность интеграции такого устройства в существующие информационно-управляющие системы автоматизации, которые уже используются или внедряются в сетях обленерго Украины. Как правило во многих обленерго используются или уже внедряются такие системы автоматического управления сетями, как SCADA-система и GIS-система. Хотя системы работают изолированно друг от друга, рекомендуется передавать информацию от устройства в обе указанные системы: в SCADA-систему – для архивации данных в журнале событий, а в GIS-систему – для повышения удобства при координации действий во время устранения повреждений. Рассмотрено оборудование, которое должно использоваться для интеграции предлагаемого устройства в вышеупомянутых системах и даны рекомендации по их доработке для повышения удобства использования информации оперативным персоналом. Проанализированы меры по защите от киберугроз такой системы от постороннего влияния через публичную GSM-сеть. Проанализирована работа эксплуатационного персонала по устранению замыканий на землю при получении информации от устройства. Показано, что при установке предлагаемого устройства показатели надежности электроснабжения SAIDI, SAIFI и ENS удастся улучшить: SAIDI с 1,2 до 0,95 ч / (год-откл) SAIFI с 0,015 до 0,0075 раз / (год-км) ENS 46,3 до 26,3 МВт-ч / год.

Ключевые слова: электрические сети 6-35кВ, электрические сети с изолированной нейтралью, однофазные замыкания на землю, поиск места замыкания, SCADA-система, GIS-система

V. M. BEZRUCHKO, R. O. BUINYI, V. I. TKACH

INNOVATIVE APPROACH TO DETERMINING LOCATION OF THE SINGLE-PHASE-TO-EARTH FAULTS IN 6-35KV POWER NETWORKS AT THE IMPLEMENTATION OF THE SMART GRID CONCEPT IN UKRAINE

When a single-phase-to-earth fault takes place in 6-35kV electrical networks that operate with insulated neutral, the network switches to an abnormal mode of operation. In this mode, the probability of a phase-to-phase fault through ground and a blackout of consumers is increased. Therefore, it is important to minimize the time to find the location of a single-phase-to-earth fault and repair this fault. For this, it is proposed to use a new device, which should be on each support of the overhead line. This device transmits the coordinates of the overhead line support, where a single-phase-to-earth fault takes a place, to the control center using a GSM cellular network. The proposed device is powered by a fault current, does not contain a battery and does not work without a single-phase-to-earth fault on this support, which makes it highly reliable. Its simplified design and principle of operation are described and recommendations for the implementation of the device are given. The possibility of integrating such a device into existing information control systems that are already used or implemented in the networks of regional power companies of Ukraine is considered. As a rule, in many regional

power companies used (or are being introduced) such automatic network control systems like SCADA-system and GIS-system, which autonomous from each other. It is recommended to provide information from the device to both of these systems. Into the SCADA system for archiving data in the event log and into the GIS-system to improve convenience in coordinating actions during the repair of fault. The equipment that should be used to integrate the proposed device in the above systems is considered. Recommendations for existing systems to improve the usability of information by operational personnel are given. Analyzed are steps to protect against cyber threats of such a system from extraneous influence through a public GSM network. The work of the operating staff to eliminate fault when receiving information from the device is analyzed. It is shown that when installing the proposed device, the reliability indicators of power supply SAIDI, SAIFI and ENS can be improved: SAIDI from 1.2 to 0.95 h / (year-off) SAIFI from 0.015 to 0.0075 times / (year-km) ENS 46.3 to 26.3 MWh / year.

Key words: middle-voltage power networks, power networks with insulated neutral, single-phase-to-earth faults, search for a fault location, SCADA-system, GIS

Вступ. В Україні електричні мережі середньої напруги (6-10 кВ) працюють в режимі ізольованої нейтралі. Це дозволяє забезпечити високу надійність електропостачання за рахунок того, що мережа може працювати навіть з однофазним замиканням на землю (ОЗЗ).

Однак, коли мережа працює з ОЗЗ, величина фазної напруги на двох непошкоджених фазах може зрости до лінійного значення. Збільшення напруги на штирьовій ізоляції збільшує ймовірність утворення міжфазного короткого замикання, а, як наслідок, призведе до відключення споживачів [1,2]. Якщо повторне включення не буде успішним, багато споживачів залишаться без електропостачання до тих пір, поки оперативно-виїзна бригада (ОВБ) не усуне пошкодження на повітряній лінії (ПЛ). Для зменшення зони знеструмлення можна застосовувати секціонування електричної мережі комутаційними пристроями, що дозволить покращити показники надійності електропостачання SAIDI, SAIFI та ENS [3]. Також покращити показники надійності можна за рахунок зменшення тривалості визначення місця ОЗЗ в мережі та зменшення тривалості його усунення.

Існуючі методи розв'язання задачі. В даний час в Україні застосовують декілька способів пошуку місць ОЗЗ. Найбільшого поширення здобув метод пошуку, заснований на аналізі електромагнітного поля вздовж траси повітряної лінії. Однак, якщо лінія електропередавання протяжна та складнорозгалужена, ОВБ може витратити значний час на пошук місця замикання.

Для прискорення пошуку місць ОЗЗ електропостачальними компаніями поряд із «традиційними» пристроями («Поиск», «Спектр», «Зонд», «Волна», «Квант») використовуються сучасні:

- «індикатор короткого замикання» [4]. Такий пристрій встановлюється на кожному відгалуженні ПЛ та дозволяє фіксувати лише факт наявності короткого замикання на відгалуженні, а також ОЗЗ, у випадку його переведення у міжфазне замикання, закорочуванням непошкодженої фази, що лише звужує зону пошуку до виявленого відгалуження та призводить до протікання великих струмів короткого замикання через електрообладнання електричних мереж. Даний пристрій живиться від акумулятора, який також потребує обслуговування;

- «фіксатор короткого замикання» [5]. Такі пристрої встановлюються на відгалужувальних опорах ПЛ і працюють так само, як і попередні. Вони мають схожий принцип дії та аналогічні недоліки. Їх відмінністю є те, що вони живляться від фотоелектричних модулів, а також у своїй конструкції

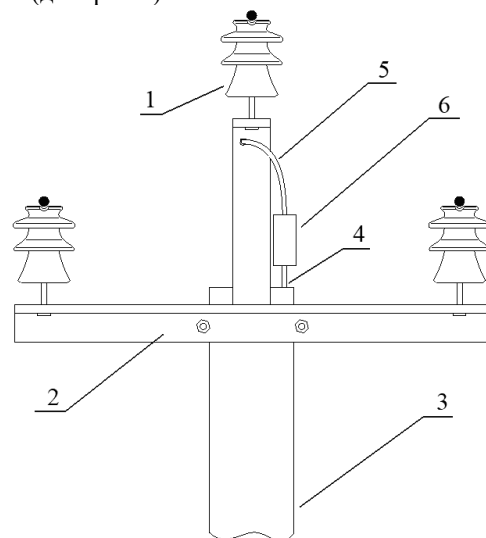
мають акумулятор, який також потребує обслуговування;

- «комплект ІКЗ-33У» [6]. Такий пристрій складається з трьох індикаторів короткого замикання, що розміщуються на проводах ПЛ. Вони живляться від акумуляторів та встановлюється на кожному відгалуженні ПЛ, та мають вищезазначені недоліки.

Усі вищеперераховані пристрої дозволяють лише звужити зону пошуку до певного відгалуження від основної магістралі ПЛ. Після цього місце пошкодження визначається «традиційними» способами, коли ОВБ виконує обхід ПЛ з візуальним оглядом.

Мета роботи. Огляд запропонованого авторами інноваційного способу виявлення місця ОЗЗ, яке утворюється через пробій штирової ізоляції на опорі ПЛ 6-10кВ та його інтеграція у існуючі системи автоматичного управління мережами.

Виклад основного матеріалу. Авторами запропоновано пристрій, який встановлюється на металевих заземлюючих спусках кожної опори ПЛ 6-10 кВ (див. рис.1).



1 - штирьовий ізолятор, 2 - траверса,
3 - залізобетонна стійка опори ПЛ,
4 - арматура заземлення, 5 - сталевий стрижень,
6 - запропонований пристрій, герметизований компаундом

Рисунок 1 – Опора ПЛ електропередавання із запропонованим пристроєм

У нормальному режимі роботи електричної мережі струм ОЗЗ через опору ПЛ відсутній, тому запропонований пристрій не має живлення, що підвищує його конструктивну надійність, яка також має забезпечуватися герметизацією пристрою компаундом для забезпечення вологостійкості.

У [7] показано, що понад 47% ОЗЗ відбувається через штифтовий ізолятор, тому таке розміщення ідентифікатора дозволить відстежувати більшість пошкоджень.

На рис. 2 зображено підключення пристрою до арматури заземлення опори ПЛ.

Пристрій має трансформатор струму на своєму вході, через який і передбачається живлення пристрою під час ОЗЗ. Трансформатор струму виконується на тороїдальному осерді, первинною обмоткою якого є стрижень заземлення, вторинна обмотка підключається до блоку живлення пристрою. Така схема підключення пристрою не змінює систему заземлення опори.

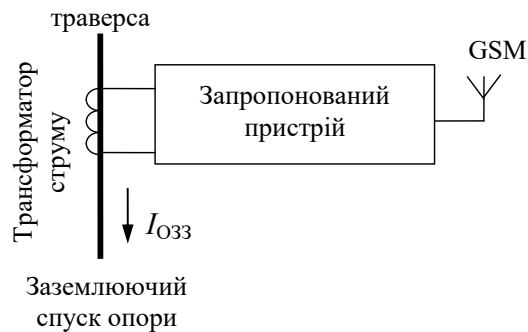


Рисунок 2 – Схема приєднання пристрою

У разі виникнення ОЗЗ через штирьову ізоляцію на одній з опор ПЛ струм замикання протікає через ізолятор, траверсу та заземлюючий спуск опори в землю. Як правило, значення цього струму для діючих в Україні електричних мереж 6-10 кВ знаходиться в межах від 0,5 до 20 Ампер. Цей струм протікаючи через трансформатор струму запропонованого пристрою живить вбудований накопичувач енергії. Накопивши достатню кількість енергії, запропонований пристрій відправляє повідомлення про пошкодження в диспетчерський центр управління. Повідомлення надсилається через канал стільникового зв'язку GSM-мережі.

Слід зазначити, що повідомлення надсилається не в той утворення ОЗЗ, а тільки після накопичення достатньої енергії у акумулюючому елементі пристрою. Це може зайняти кілька хвилин. Час накопичення залежить від значення струму ОЗЗ.

Детальну інформацію про принцип дії, побудову, специфіку використовуваних та розрахунки можна знайти у статті [8].

Прототип запропонованого пристрою був побудований і його випробували в лабораторії та на існуючій лінії електропередавання АТ «Чернігівобленерго». Зовнішній вигляд прототипу пристрою показано на рис. 3. Цей пристрій був запатентований [9].

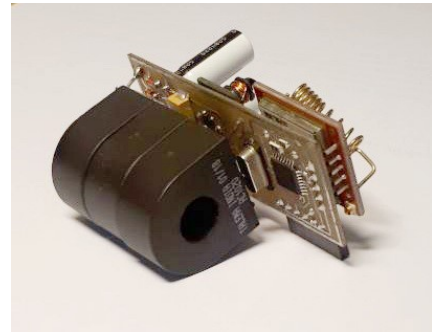


Рисунок 3 – Прототип запропонованого пристрою

Створений прототип пристрою показав, що він може акумулювати енергію та відправляти повідомлення про пошкодження на диспетчерський пункт за 5-10 хвилин за струму ОЗЗ понад 2А. Зі збільшенням струму ОЗЗ час ідентифікації пошкодження зменшується.

Для визначення зони чутливості пристрою слід визначити значення струму ОЗЗ через штирьову ізоляцію в електричній мережі 6-10 кВ. Струм ОЗЗ можна обчислити за формулою, отриманою методом еквівалентного генератора:

$$I_{OЗЗ} = \frac{U_L}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R^2 + \left(\frac{I}{3 \cdot \omega \cdot C_{ПЛ}} \right)^2}}, \quad (1)$$

де U_L – діюче значення номінальної лінійної напруги ліній електропередачі; R – опір в місці пробію ізоляції; ω – кутова частота; $C_{ПЛ}$ – сумарна ємність електрично зв'язаних ПЛ, що включені від однієї секції шини центру живлення.

З наведеної формули видно, що найбільше значення струму ОЗЗ $I_{OЗЗ}$ буде при $R = 0$. Однак, як правило, всі пробію через ізолятор ПЛ 6-10кВ мають певний опір. На рис. 4 показано, як змінюється струм ОЗЗ в місці пошкодження, коли опір змінюється від нуля до високих значень.

Запропонований пристрій може виявити місце ОЗЗ, але він матиме певну зону низької чутливості (ця зона показана на рис. 4). Якщо струм ОЗЗ малий, час виявлення ОЗЗ буде довгим.

Слід зазначити, що ОЗЗ в мережі з ізолюваною нейтраллю можуть носити нестійкий характер. У випадку достатньо тривалого пошуку ОЗЗ «традиційними» способами пошкодження може самоусунутися, а потім виникнути повторно через деякий час, що, як правило, призводить до затягування тривалості пошуку та збільшення витрат часу та ресурсів ОВБ.

Запропонований авторами ідентифікатор дозволяє виявити вищезазначені несправності, але для цього може бути витрачений невизначений час, особливо при замиканні з великим перехідним опором. Як видно з рис. 4, зона низької чутливості починається за $R > 11,5$ кОм.

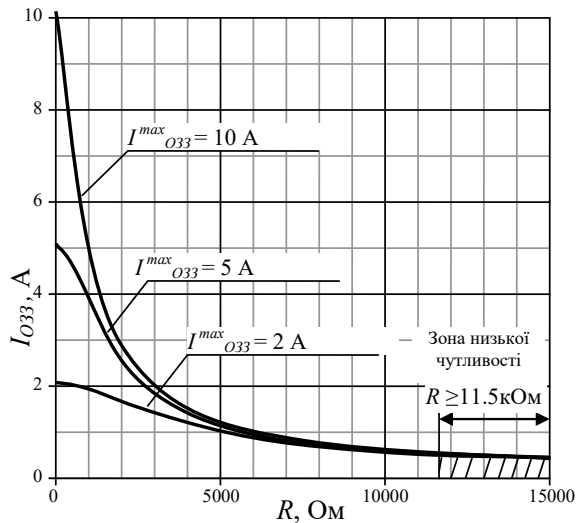


Рисунок 4 – Залежність струму відмови від опору несправності

В даний час у більшості операторів систем розподілу в Україні знаходяться в експлуатації інформаційно-керуючі системи управління технологічними процесами. Зокрема в АТ «Чернігівобленерго» на сьогодні існує кілька ізольованих одна від одної систем:

- автоматизована система комерційного обліку електроенергії. Ця система використовується лише для комерційного обліку енергії;

- SCADA-система, яка використовується для контролю стану енергомережі та відповідних вимірювань, а також для виконання необхідних комутаційних дій, сигналізації, тощо. SCADA-система складається з трьох рівнів. Перший рівень – це рівень станцій та ліній електропередавання, де розташоване обладнання для контролю та вимірювання. Другий рівень – це рівень місцевого центру управління. Тут розміщені пульт управління (диспетчерська району електричних мереж) та локальний сервер, до якого підключені інформаційні лінії з обладнання підстанцій та ліній електропередавання. Третій рівень – це рівень основного центру управління (диспетчерська області), до якого підключено багато інформаційних ліній з місцевих центрів. Усі центри управління використовують програмне забезпечення MicroSCADA Pro від компанії ABB. Аналогічна структура SCADA-системи є характерною для більшості обленерго в Україні;

- ГІС-система – геоінформаційна комп'ютерна система для збору, зберігання, перевірки та відображення даних, пов'язаних з положеннями електромережних об'єктів на поверхні Землі з прив'язкою до їх координат. У Чернігівській області майже всі ПЛ 6-10 кВ зі своїми підстанціями 10(6)/0,4 кВ вже додано до бази даних ГІС з її координатами та розташуванням на лініях. Ця система використовується для швидкої координації операцій під час експлуатації електромереж.

Авторами пропонується інтеграція ідентифікатора ОЗЗ до основних інформаційно-керуючих систем АТ «Чернігівобленерго». Інформація

від ідентифікатора ОЗЗ повинна надходити на сервер SCADA-системи другого рівня, де розміщене обладнання місцевого центру управління, який знаходиться в районі, оскільки саме районні служби займаються експлуатацією мереж. Надалі інформація про пошкодження може, за необхідністю, передаватися на верхній рівень.

Для підключення ідентифікатора ОЗЗ до існуючих інформаційно-керуючих систем слід використовувати наступне обладнання GSM-модем, підключений до програмованого логічного контролера (ПЛК). Запропонована схема показана на рис. 5.

Повідомлення, яке запропонований пристрій надсилає серверу, складається з унікального коду для пристрою. Цей код повинен знаходитися в базі даних і мати еквівалентну опору на лінії електропередач. Коли цей код надходить на сервер центру управління, відбувається дешифрація, де саме сталося ОЗЗ. Після цього дані можуть бути надіслані на основний сервер SCADA-системи, де вони будуть зберігатися у журналі подій.

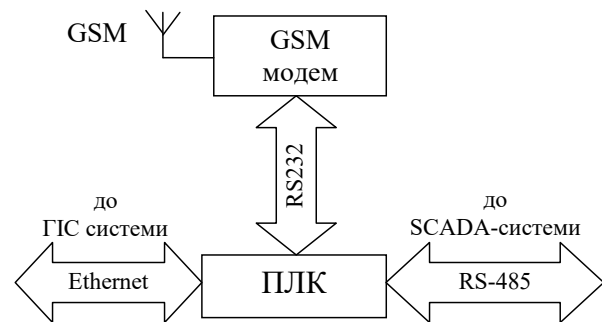


Рисунок 5 – Схема інтеграції пристрою в існуючі системи

Дані також мають надходити до ГІС. Ця система може бути використана для візуального представлення даних про ОЗЗ та його місце знаходження. Експлуатаційний персонал може використовувати його для навігації під час виїзду на ремонтні роботи.

Після спрацювання сигналізації про ОЗЗ на підстанції за «традиційного» пошуку місця пошкодження диспетчер електромереж визначає пошкоджену лінію та фазу на ній та оформлює усі необхідні допуски ОВБ на пошук пошкодження. ОВБ має «пройти» вздовж ПЛ та знайти пошкодження. При цьому ГІС використовується лише для навігації по місцевості, побудови маршруту для бригади, аналізу під'їзних шляхів тощо.

Якщо запропоновані пристрої будуть встановлені в мережі, процес усунення ОЗЗ передбачається наступний. Диспетчер оформлює усі необхідні допуски ОВБ на пошук пошкодження. За цей час, що займає не менше 10 хвилин, повідомлення від ідентифікатора надійде до ГІС-системи, на якій буде вказане точне місце пошкодження, з точністю до опори. Отримана від ГІС інформація дозволить ОВБ суттєво скоротити час пошуку та оперативно усунути пошкодження.

На рис. 6 показана частина плану смт. Ріпки з існуючої ГІС-системи з трасою ПЛ 10 кВ з усіма опорами та прикладом повідомлення про ОЗЗ на опорі №53 від запропонованого авторами ідентифікатора.

Як видно, опора з ОЗЗ позначена червоним кольором, а в інформаційному вікні наведено унікальний код пристрою, номер опори та диспетчерське найменування лінії.

В результаті запропонований пристрій підвищить надійність електропостачання та покращить показники SAIDI, SAIFI та ENS, які згідно з [10] можуть бути розраховані за формулами:

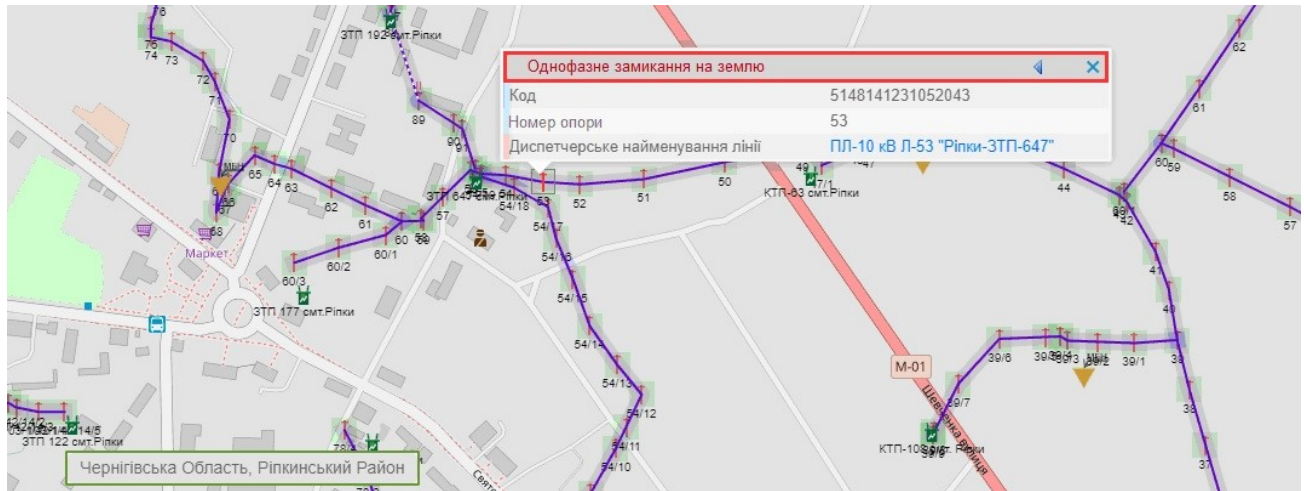


Рисунок 6 – Скріншот із системи ГІС із прикладом повідомлення про несправність

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^k t_i \cdot n_i}{n}; \quad (2)$$

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^k n_i}{n}; \quad (3)$$

$$ENS = \sum_{i=1}^k P_i \cdot t_i, \quad (4)$$

де t_i – тривалість i -ї довгої перерви в електропостачанні; n_i – кількість точок продажу електроенергії у результаті i -ї довгої перерви в електропостачанні; n – загальна кількість точок продажу електроенергії; k – кількість довгих перерв в електропостачанні протягом звітного періоду; P_i – середнє навантаження, яке було відключене внаслідок i -ї довгої перерви в електропостачанні.

Так, згідно з [7], по компанії АТ «Чернігівобленерго»:

– величина $SAIDI$, викликана тільки ОЗЗ, складає біля 1,2 год/(рік·відкл);

– величина $SAIFI$ із-за ОЗЗ знаходиться в діапазоні 0,015 разів/(рік·км), з яких 46,8% припадає на пошкодження штирьової ізоляції ПЛ 6-10кВ.

– величина ENS із-за пошкодження штирьової ізоляції ПЛ 6-10кВ складає 21,263 МВт·год/рік, або 45,9% від загального недовідпуску електроенергії, який викликаний короткими замиканнями, які викликані переходом ОЗЗ у міжфазні замикання.

У випадку масового запровадження запропонованого авторами пристрою у розподільні мережі 6-10 кВ АТ «Чернігівобленерго» слід очікувати

поліпшення показників надійності із за пошкоджень, викликаних ОЗЗ:

– величина $SAIDI$ може бути зменшена до 0,95 год/(рік·відкл);

– величина $SAIFI$ – до 0,0074 разів/(рік·км);

– величина очікуваного недовідпуску електроенергії $EENS$ – до 29,326 МВт·год/рік.

Оскільки запропонований варіант інтеграції пристрою для ідентифікації ОЗЗ у інформаційно-керуючу систему використовує публічну GSM-мережу стільникового зв'язку, яка вразлива до зовнішнього несанкціонованого втручання, то це потребує додаткових захисних заходів. Автори рекомендують обов'язків наступний захід – всі запропоновані пристрої повинні мати унікальне VPN-з'єднання з обладнанням районного диспетчерського центру, яке є шифрованим.

Висновки. Запропоновано пристрій для визначення розташування ОЗЗ в розподільних електромережах 6-10кВ, що базується на інноваційному підході та дозволяє ідентифікувати пошкодження навіть у випадку замикання через перехідний опір до 11,5кОм.

Запропоновано шляхи інтеграції даного пристрою до існуючих SCADA та GIS-систем обленерго, що дозволить не тільки архівувати дані у журналі подій, але і підвищити зручність при координації дій персоналу під час усунення пошкоджень. Це дозволить знизити час усунення пошкоджень до мінімально можливого.

Результатом впровадження запропонованого пристрою стане поліпшення показників надійності електропостачання споживачів SAIDI, SAIFI та ENS.

Список літератури

1. Bayliss C.R., Hardy B.J. Transmission and Distribution Electrical Engineering. – Third Edition. – Elsevier Ltd, 2007. – 1040p.

2. Das D. Electrical Power Systems. – New Age International Publishers, 2006. – 484p.
3. Буйний Р.О., Діхтярук І.В., Зорін В.В. Автоматичне секціонування розподільних електричних мереж напругою 6–10кВ із застосуванням роз'єднувачів нового покоління // Технічна електродинаміка. – 2014. – №3. – С.70-75.
4. Кучерявенков А.А., Карпашев А.С. Устройство для определения местоположения и вида повреждений воздушной линии электропередач. Патент России на полезную модель №126144, 2013.
5. Пат. № 64352 А України, МКИ 7 0011131/08, Фіксатор короткого замикання. М.М. Черемісін, В.М. Зубко, В.О. Коробка, Г.А. Сідоров, А.А.Пироженко №2003054513; Заявлено 20.05.2003; Опубл. 16.02.2004, Бюл. №2.
6. A3 Group, "Kit of faulted circuit indicators," OHL Fault Indicators Lodestar CL25. [Online]. URL: <https://www.a3.energy/products-bottom/ohl-fault-locator/lodestar-cl25-detail>. (дата звернення: 10.11.2019)
7. Ткач, В.І. Вплив однофазних замикань на землю на експлуатаційні показники надійності повітряних ліній 6-10 кВ ПАТ «Чернігівобленерго» / В. І. Ткач, В. М. Безручко, Р. О. Буйний // Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2019. – № 1. – С. 120-126. – doi:10.20998/2413-4295.2019.01.14
8. Безручко В.М., Буйний Р.О., Строгий А.Ю., Ткач В.І. Використання GSM технології при ідентифікації місць однофазних замикань на землю в електричних мережах з ізольованою нейтраллю зі штирьовою ізоляцією. Технічна електродинаміка. 2018. № 5. С. 96-99. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2018.05.096>
9. Безручко В.М., Буйний Р.О., Строгий А.Ю., Ткач В.І. Пристрій для ідентифікації місць однофазних замикань на землю в електричних мережах з ізольованою нейтраллю, заявка на патент України № 2018 03974.
10. Billinton, R. Reliability-network-equivalent approach to distribution-system-reliability evaluation / R. Billinton, P. Wang // Generation, Transmission and Distribution, IEEE Proceedings. – 1998. – Vol. 145. – pp. 149-153. – doi: 10.1049/ip-gtd:19981828.

References (transliterated)

1. Bayliss, C.R., Hardy, B.J. Transmission and Distribution Electrical Engineering. Third Edition. Elsevier Ltd, 2007, 1040p.
2. Das, D. Electrical Power Systems. New Age International Publishers, 2006, 484p.
3. R. Buinyi, I. Dikhtyaruk, V. Zorin, "The automatic sectionalization of the distributing networks with high voltage of 6 10 kV with application the disconnectors of new generation," Tekhnichna elektrodynamika, Issue 3, pp.70-75, 2014.
4. A.A. Kucheryavenkov, A.S. Karpashev, "Device for determining the location and type of damage to the overhead power line," Russia Patent for utility model №126144, 2013.
5. M.M. Cheremisin, V.M. Zubko, V.O. Korobka, H.A. Sidorov, A.A. Pyrozhenko, "Short-circuit lock," Ukraine Patent №64352 A, 2004.
6. A3 Group, "Kit of faulted circuit indicators," OHL Fault Indicators Lodestar CL25. [Online]. Available: URL: <https://www.a3.energy/products-bottom/ohl-fault-locator/lodestar-cl25-detail> (Accessed: Dec. 10, 2018).
7. Tkach, V., Bezruchko, V., Buinyi, R. The effect of single-phase-to-ground faults on the operational reliability indicators of overhead lines 6-10 kV PJSC «Chernigivoblenreg». Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2019, 1, 120-126, doi:10.20998/2413-4295.2019.01.14.
8. V.M. Bezruchko, R.O. Buinyi, A.Y. Strogii, V.I. Tkach, "Application of GSM technology for identification of phase-to-ground faults in electric networks with isolated neutral and pin-type isolation," Tekhnichna elektrodynamika, Issue 5, pp.96-99, 2018.
9. V.M. Bezruchko, R.O. Buinyi, A.Y. Strogii, V.I. Tkach, "Device for identification of signal phase-to-ground faults in electric networks with isolated neutral," Ukraine Patent application № a 2018 03974.
10. Billinton, R., Wang, P. Reliability-network-equivalent approach to distribution-system-reliability evaluation. Generation, Transmission and Distribution, IEEE Proceedings, 1998, 145, 149-153, doi: 10.1049/ip-gtd:19981828.

Надійшла (received) 15.10.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Безручко Вячеслав Михайлович (Bezruchko Viacheslav Mihailovich) – кандидат технічних наук, Чернігівський національний технологічний університет, доцент кафедри електричних систем і мереж, м. Чернігів, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3705-8543> ; e-mail: slavajm@meta.ua

Буйний Роман Олександрович (Buinyi Roman Oleksandrovych) – кандидат технічних наук, доцент, Чернігівський національний технологічний університет, доцент кафедри електричних систем і мереж, м. Чернігів, Україна; ORCID: 0000-0002-5432-2924; e-mail: buinyiroman@gmail.com

Ткач Володимир Іванович (Tkach Volodymyr Ivanovich) – АТ «Чернігівобленерго», інженер відділу перспективного розвитку, м. Чернігів, Україна; e-mail: v.tkach1972@gmail.com